УДК 004.896:631.554

С.М. Селякова
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта,
г. Донецк, Украина

Разработка подмодели нижнего уровня трёхуровневой модели уборочно-транспортного процесса

В работе рассматривается задача моделирования уборочно-транспортного процесса, разбитого на четыре зоны. Определены структура и тип моделей, характеризующих технологический процесс. Представлена подмодель нижнего уровня иерархии.

Введение

В настоящее время всё большую актуальность приобретает проблема автоматизации процессов управления сложными технологическими системами с целью повышения их эффективности. Сбор и транспортировка урожая зерновых культур является сложной технологической системой, управление которой возможно реализовать с помощью автоматизированного принятия решений.

Постановка задачи. Разработка методов повышения эффективности уборочно-транспортных работ.

Анализ литературных источников. Оптимизации транспортных процессов при помощи детерминированных экономико-математических показателей посвящена работа [1]. В источнике [2] применяется имитационное моделирование при проектировании уборочно-транспортных систем. В статье [3] предлагается использовать методы логистики для организации уборочно-транспортных работ. Применение прогрессивных методов искусственного интеллекта к процессу сбора урожая представлено в статье [4]. Данные работы соответствуют целям временного периода и посвящены узким проблемам организации уборочной кампании. Поэтому разработка методов повышения эффективности уборочно-транспортного процесса на всех его этапах с учётом разнообразных технологических и климатических условий остаётся до сих пор актуальной.

Цель работы – разработать математические модели технологического процесса сбора и транспортировки урожая зерновых, которые позволяли бы описывать функциональные свойства технических средств и рассчитывать показатели их работы.

Анализ уборочно-транспортного процесса

На основании анализа технологического процесса сбора и транспортировки зерна требуется определить структуру и тип моделей, описывающих этот процесс, выделить его псевдооднородные признаки, сформулировать гипотезу о механизме процесса, разработать соответствующие модели.

Анализ уборочно-транспортной системы показал, что её показатели явно зависят от времени, а также влияют друг на друга нелинейным образом. Например, при продлении сроков сбора зерна после наступления полной его спелости увеличиваются потери зерна. В свою очередь потери нелинейно зависят от влажности зерна. Таким образом, уборочно-транспортный процесс носит нестационарный и нелинейный характер. В соответствии с этим для описания объекта управления выбираем нелинейную динамическую детерминированную модель. В связи с тем, что на результаты работы технических средств могут повлиять случайные факторы, то в детерминированную модель необходимо включить вероятностную составляющую.

Процесс сбора и транспортировки урожая зерновых культур можно охарактеризовать множеством псевдооднородных признаков составляющих процесса, таких, как: геодезическая привязка технологического процесса уборки; зависимость этого процесса от функционирования подвижной уборочной техники; связь его с совокупностью маршрутных путей и движущимися по ним транспортными средствами; обеспечение обработки зерна техническими средствами очистки и сушки, а также погрузочно-разгрузочными механизмами.

На основании перечисленных псевдооднородных признаков разобьём уборочно-транспортный процесс на четыре зоны. Первая зона – поле, характеризуемое признаком геодезической привязки технологического процесса. Вторая зона – совокупность уборочных средств, определяемая псевдооднородным признаком организации технологического процесса на базе подвижной уборочной техники, производящей обмолот и накопление зерна. Третья зона характеризуется признаком связи технологического процесса с совокупностью маршрутных путей и движущимися по ним транспортными средствами. Четвёртая зона с псевдооднородным признаком обеспечения обработки зерна техническими средствами очистки и сушки представляет собой пункт послеуборочной обработки зерна.

Формирование гипотезы о составе модели

На основании выделенных технологических зон сформулируем гипотезу о механизме процесса. В результате работы уборочной техники производится сбор зерна в первой зоне в количестве, зависящем от урожайности поля и производительности уборочной техники, осуществляется передача зерна из первой зоны во вторую. Во второй зоне непрерывно накапливается зерно в зерновых бункерах комбайнов. При заполнении бункера зерно дискретно передаётся уборочными средствами в третью зону – в кузова транспортных средств. Третья зона принимает зерно от второй и четвёртой зоны в количестве, не превышающем грузоподъёмности транспортных средств, осуществляющих перевозку зерна. С помощью разгрузочных механизмов зерно поступает в четвёртую зону для последующей обработки различными средствами очистки и сушки.

Гипотеза сформулирована на базе следующих допущений: урожайность по полю распределяется равномерно; процесс сбора зерна непрерывен; вместимость зернового бункера уборочного средства не превышает вместимости кузова транспортного средства; процесс транспортировки зерна непрерывен; обработка зерна непрерывна в рамках одного производственного цикла.

В связи с особенностями функционирования и взаимодействия технических средств между собой, моделирование уборочно-транспортной системы производится на трёх уровнях: нижнем, среднем и верхнем, каждый из которых характеризуется

соответствующей подмоделью. Подмодель нижнего уровня описывает функционирование и результаты работы каждого технического средства в каждой зоне с периодом квантования – минута. Подмодель среднего уровня предназначена для прогноза работы совокупности технических средств в каждой зоне с периодом квантования – смена. Подмодель верхнего уровня характеризует работу предприятия в целом во время уборочной кампании и предназначена для прогноза взаимодействия всех технологических зон между собой с периодом квантования – час.

Разработка подмодели нижнего уровня

Рассмотрим подмодель нижнего уровня, представленную в статье только для первых трёх технологических зон уборочно-транспортного процесса.

1 зона. Изменение убранной площади k-го поля в результате работы i-го комбайна характеризуется уравнением:

$$\frac{dS_{ki}}{dt} = a_0 l_{ki} b_i, \tag{1}$$

где a_0 – параметр, 1/мин.; l_{ki} – длина пройденного пути; b_i – ширина захвата жатки, м.

Изменение количества зерна на k-м поле во время работы i-го комбайна определяется выражением:

$$\frac{dQ_k^n}{dt} = -a_1 \beta_1 S_k U_k - \Phi_0(t), \tag{2}$$

где a_1 – коэффициент интенсивности сбора зерна, 1/мин.; β_1 – доля убранной площади от общей площади поля S_k, м^2; U_k – урожайность поля, кг/м^2; $\Phi_0(t)$ – функция потерь зерна, кг/мин.

Доля убранной площади поля вычисляется по формуле:

$$\beta_1(t) = \beta_1(t-1) + \frac{1}{S_k} \int_{t-1}^{t} \frac{dS_{ki}}{dt} d\tau. \tag{3}$$

2 зона. Динамика изменения пройденного пути комбайном характеризуется уравнением:

$$dl_{ki} = C_1 V_i dt + dw(t), \tag{4}$$

где c_1 – параметр, V_i – техническая скорость комбайна, м/мин.; *w(t)* – винеровский процесс.

Динамика изменения количества зерна в бункере комбайна характеризуется уравнением:

$$\frac{dq_i}{dt} = \lambda_1 a_1 \beta_1 S_k U_k - \lambda_2 a_2 s_i \rho_k, \tag{5}$$

где s_i – площадь сечения разгрузочного устройства, м^2; ρ_k – плотность зерна, кг/м^3; логические операторы

$$\lambda_1 = \begin{cases} 1, при\ q_i < V_i \rho_k \\ 0, в\ остальных\ случаях \end{cases}; \quad \lambda_2 = \begin{cases} 1, при\ q_i \geq V_i \rho_k \\ 0, в\ остальных\ случаях \end{cases}.$$

Количество зерна, собранного комбайном, представим в виде уравнения:

$$\frac{dQ_i}{dt} = a_3 \alpha_1(t_\zeta) Q_i^h, \tag{6}$$

где $\alpha_1(t_\zeta)$ – доля убранного зерна от общего количества зерна Q_i^h, которое необходимо собрать комбайну за час; t_ζ, $\zeta = \overline{1,k}$ – моменты времени, при которых функция q_i достигает максимального значения.

Доля убранного зерна от общего количества зерна находится по формуле:

$$\alpha_1(t_\zeta) = \alpha_1(t_{\zeta-1}) + \frac{1}{Q_i^h} \int_{t_{\zeta-1}}^{t_\zeta} \frac{dQ_i}{dt} d\tau . \qquad (7)$$

3 зона. Расстояние, пройденное транспортным средством в гружёном состоянии от k -го поля до места разгрузки зерна, характеризуется уравнением:

$$\frac{dL1_{kj}}{dt} = \pi_1 b_1 \gamma_1 H_j^H l_j^H + \pi_2 b_2 \gamma_2 H_j^\Pi l_j^\Pi , \qquad (8)$$

где b_1, b_2 – параметры; H_j^H, H_j^Π – количество рейсов, которые необходимо сделать j -му транспортному средству на заготовительное предприятие и на пункт послеуборочной обработки соответственно; l_j^H, l_j^Π – картографическое расстояние от поля до пункта разгрузки зерна, м; γ_1, γ_2 – доли пройденного расстояния в гружёном состоянии; π_1, π_2 – логические операторы выбора направления пути транспортировки зерна, представленные в виде

$$\pi_1 = \begin{cases} 1, \ K(z_k) = norm(z) \\ 0, \ иначе \end{cases} ; \ \pi_2 = \begin{cases} 1, \ K(z_k) \neq norm(z) \\ 0, \ иначе \end{cases} ,$$

где $K(z_k)$ – функция качества зерна, зависящая от показателей влажности и засоренности зерна.

Доли пройденного расстояния можно вычислить следующим образом:

$$\gamma_1(t_k) = \gamma_1(t_{k-1}) + \frac{1}{H_j^H l_j^H} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \frac{dL1_{kj}}{dt} d\tau , \qquad (9)$$

$$\gamma_2(t_k) = \gamma_2(t_{k-1}) + \frac{1}{H_j^\Pi l_j^\Pi} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \frac{dL1_{kj}}{dt} d\tau . \qquad (10)$$

Расстояние, пройденное транспортным средством в порожнем состоянии, вычисляется по формуле:

$$\frac{dL2_{kj}}{dt} = \pi_1 b_3 \gamma_3 H_j^H l_j^H + \pi_2 b_4 \gamma_4 H_j^\Pi l_j^\Pi , \qquad (11)$$

где b_3, b_4 – параметры; γ_3, γ_4 – доли пройденного пути транспортным средством в порожнем состоянии.

Доли пройденного пути транспортным средством в порожнем состоянии вычисляются по формулам:

$$\gamma_3(t_k) = \gamma_3(t_{k-1}) + \frac{1}{H_j^H l_j^H} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \frac{dL2_{kj}}{dt} d\tau , \qquad (12)$$

$$\gamma_4(t_k) = \gamma_4(t_{k-1}) + \frac{1}{H_j^\Pi l_j^\Pi} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \frac{dL2_{kj}}{dt} d\tau . \qquad (13)$$

Количество транспортных средств определённого типа, закрепленных за i-м комбайном, определяется из соотношения:

$$\left| T_i^b - \frac{T_j}{n} \right| \le \sigma \,, \tag{14}$$

где n – количество транспортных средств; T_i^b – время заполнения бункера комбайна, мин.; T_j – время движения транспортного средства от поля до пункта разгрузки и в обратном направлении, мин.; σ – допустимое время ожидания, мин.

Выводы

Показано, что уборочно-транспортный процесс имеет нестационарный, нелинейный характер и подвержен действию случайных факторов. Как следствие, трёхуровневая модель, описывающая этот процесс, относится к типу нелинейной динамической детерминировано-стохастической модели. Предложенная в статье подмодель нижнего уровня способна с необходимой полнотой воспроизводить основные качества объекта, которые существенны для целей данного исследования.

Литература

1. Каверін В.А. Зменшення втрат сільськогосподарської продукції при перевезеннях. – Київ: Урожай, 1992. – 199 с.
2. Блынский Ю.Н., Ладыгин Ю.Ф. Имитационное моделирование уборочно-транспортных процессов: Прил. к журн. «Механизация и электрификация сел. хоз-ва». – М.: Агропромиздат, 1988. – 118 с.
3. Измайлов А.Ю. Моделирование погрузочно-транспортных процессов при уборке зерновых культур // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 3.
4. Searcy S. Precision farming: a new approach to crop management // Texas Agricultural Extension Service. – Texas, 2001.

С.М. Селякова

Розробка подмоделі нижнього рівня трирівневої моделі збирально-транспортного процесу

У роботі розглянута задача моделювання збирально-транспортного процесу, розбитого на чотире зони. Визначени структура й тип моделей, які характеризують технологічний процес. Представлена подмодель нижнього рівня ієрархії.

S.M. Selyakova

The Low-level Submodel Development in a Three-leveled Gathering-transporting Process Model

Considered modeling of gathering-transporting process which is divided into four zones. The structure and the type of models describing the manufacturing process are identified. The lower-level hierarchy submodel is represented.

Статья поступила в редакцию 19.12.2007.